

树鼩脑三维结构重建的研究

I. 脑切片图象的计算机辅助绘图

汪多江[△], 孙公铎*, 邓紫云**, 刘树仪[°], 李绪明*,
陈楠**, 潘贵书*, 马原野**, 蔡景霞**

摘 要

作者对生活在我国云南等地的树鼩 (*Tupaia belangeri chinensis*) 的脑与行为进行研究的同时, 将采集的脑切片数据用电子计算机处理, 建立了三维结构数学模型。本文介绍树鼩脑切片二维结构重建的数据采集、计算机处理数据的算法及图形生成技术。

关键词 树 鼩 脑三维结构重建 计算机

引 言

脑的三维结构重建的研究可追溯至1948年, Krieg用手工描绘了恒河猴间脑的三维图象。其后, Fisher (1979) 用照相摄影技术, 重建了大鼠下丘脑的三维图象。采用电子计算机辅助重建脑的三维结构则是近年之事 (Ware, 1975; Foote等, 1980; Lydic等, 1982)。国内迄今未见报道。

在计算机中一旦建立起脑的数学模型, 便可利用收集到的必要而有限的切片数据, 对脑的许多参数进行分析、计算、比较, 为研究脑功能开辟了新的途径。当然, 也有助于提供有关脑的立体定位的精确手段, 从而实验者可在任意角度下将微电极或导管插至所欲达到之脑区。

[△] 贵州省国营云马机械厂

* 贵阳医学院生理教研室脑与行为研究组

** 中国科学院昆明动物研究所灵长类研究室

[°] 贵州省测绘局

本文1984年3月18日收到, 1984年11月21日收到修改稿。

切片标本制作

本研究必先制作脑立体定位切片标本。其过程如下：将成年树鼯用过量戊巴比妥钠麻醉致死，用10%福尔马林固定，二周后取出动物头，小心除去肌肉和部份颅骨，保留颅骨前、后囟的骨质标志。将剥制好的标本置于蜡盘中，用墨笔标定前囟B (Bregma) 点和枕骨粗隆与正中缝交点L (Lambda)。随即将其固定于立体定位仪上，除去剩余骨骼并调整BL连线成水平线。在定位仪三相标尺的垂直调节杆上安装一刀片，使之垂直于BL线。以BL线中点为起点，按0.5或1.0mm厚薄作冠状切片。置蒸馏水中将切片摊平并反复冲洗。用MULLIGAN氏脑厚切片染色法染色，显示灰质和白质。注意使切片具有较高的反差。如为薄切片可按一般切片染色法制作。

数据收集

将切片置于显微照相机下摄影放大成照片 (图1)。

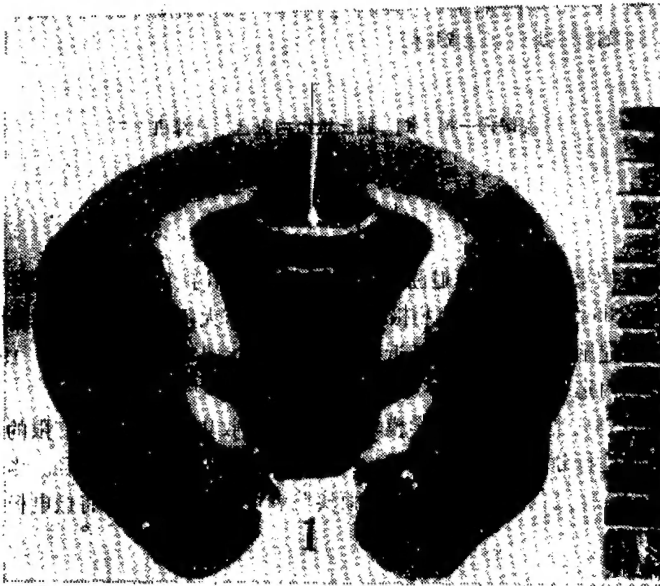


Fig. 1 The coronary section of the brain of the *Tupaia belangeri chinensis*

所得之照片在确定平面坐标系之后，用0.5mm的细针尖在预定测试脑区轮廓上钻孔。孔之密度视需要而定；考虑脑轮廓的生理特点，如果曲率变化大则多取点，否则少

取；根据数学模型的要求，点数要控制在最低限度内。用HCZ—1型立体坐标测量仪测出照片上各点的X、Y座标值。这些座标值即数学模型所需的输入信息。

值得注意的是，坐标系的选取：在确定各个切片坐标系时，必须考虑到三维重建时的需要。对于同一个脑来讲，各切片均处于一个统一的三维坐标系内。另外，各切片之间对应点的选取必须适应数学模型的算法。

产生图形

将所测得切片的二维座标数据用穿孔机穿制出五单位信息纸带，读入电子计算机，供数学模型程序计算。再按绘图信息要求进行后置处理，由联机快速穿孔机(H8227型)穿出八单位绘图信息纸带，再输入精密数控绘图机(7062RIS6015V型)而绘制出图形。流程如图2所示。

作者建立计算机数模时，立足于三维结构的重建，因而，切片图象仅是其中的截面图形。图3表示用计算机辅助绘图(CAG—Computer Aided Graphics)产生图1切片的不同比例的轮廓图。

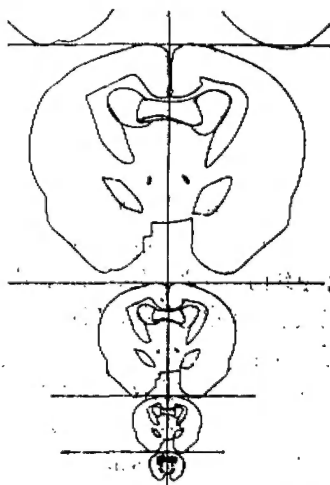
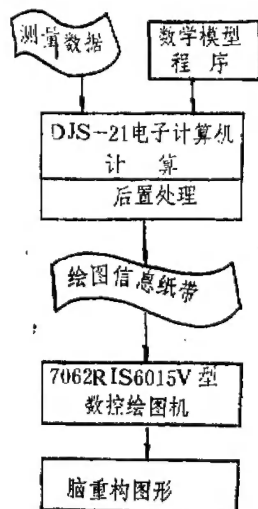


Fig. 2 Flow chart of pictures by Fig. 3 Picture of Fig.1 drawing by CAG
Computer Aided Graphics

算 法

在树鼩脑三维结构重建时，作者采用B样条(B-Spline)方法。根据本文的目的，这

里仅介绍二维算法。对测量所得的离散点进行平滑拟合(Riesenfeld, 1972)时采用的B样条曲线,是在K个跨度上非零的分段多项式。这里K是B样条的阶, (K-1)是多项式的次数。当K=4时,得四阶B样条的计算公式为

$$\vec{P}(u) = RM\vec{V}^T \dots\dots\dots (1)$$

其中 $R = [r^3 r^2 r 1]$

$$\vec{V} = [\vec{V}_{i-1} \vec{V}_i \vec{V}_{i+1} \vec{V}_{i+2}]$$

$$M = \frac{1}{6} \begin{bmatrix} -1 & 3 & -3 & 1 \\ 3 & -6 & 3 & 0 \\ -3 & 0 & 3 & 0 \\ 1 & 4 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$0 \leq u \leq n$$

$r = \{u\} = u - i$ 为u的小数部分

$i = [u]$ 为u的整数部分

$$\{V_i\}_{i=-1}^{n+2} \text{ 为已知顶点}$$

(1)式定义为一条 C^2 级连续的n段分段三次曲线,其中的段可写成带足标形式:

$$\vec{P}_i(u) = \vec{P}_i(r_i) = R_i M \vec{V}_i^T \dots\dots\dots (2)$$

($i \in [0, n-1]$)

则(2)有下列性质:

(一) 节点 $P_i = P_i(0)$ 落在由 V_{i-1} , V_i , V_{i+1} 三个相邻顶点所构成的三角形内,且位于中线的三分之一处。曲线在该点的切线与底边平行,模为底边的二分之一,二阶导数矢量平行于中线,指向底边,模为中线长度之二倍。对于 $P_{i+1} = P_i(1) = P_{i+1}(0)$ 也同样,故保凸性好。

(二) 一个节点仅与三个相邻顶点有关;一段曲线仅与四个相邻顶点有关。即一个顶点仅影响四段曲线,局部性显而易见。

(三) 三重顶点可形成尖点,尖点两边各有一直线段,虽切矢间断,但对参数仍 C^1 连续。

(四) 相邻三顶点共线时,节点也在此直线上,且切矢、二阶导矢与该直线共线,因此节点处曲率为零。相邻四顶点共线时,对应的一段曲线也是在此直线上的一个线段。

另外,顶点构成正多边形时可用来逼近圆。例如,在笛卡尔坐标系中,用正十二边形逼近半径为400mm的圆时,误差小于0.04mm,而在极坐标下可以精确描述圆。

总之,B样条具有局部性和变差减小性质,即在波动意义下,逼近函数(B-Spline)总比被逼近函数(顶点构成的特征多边形)要光滑。整根B样条曲线落在整个特征多边形依次四个顶点所组成的凸包并集之中,并可嵌入尖点、重点和直线。

根据测量点反算出顶点，然后再用 (1) 式计算曲线。求顶点需要解方程组：

$$\frac{1}{6} \begin{pmatrix} b_0 c_0 & & & & d \\ 1 & 4 & 1 & & \\ & 1 & 4 & 1 & \\ & & \ddots & \ddots & \\ & & & 1 & 4 & 1 \\ d & & & & a_n b_n \end{pmatrix} \begin{pmatrix} V_0 \\ V_1 \\ V_2 \\ \vdots \\ V_{n-1} \\ V_n \end{pmatrix} = \begin{pmatrix} f_0 \\ P_1 \\ P_2 \\ \vdots \\ P_{n-1} \\ f_n \end{pmatrix} \dots\dots\dots (3)$$

其中， $b_0, c_0, a_n, b_n, d, f_0, f_n$ 随端点条件而定 (表 1)

表 1

端点条件	b_0	c_0	a_n	b_n	d	f_0	f_n
$P' = 0$	6	0	0	6	0	P_0	P_n
P' 给定	4	2	2	4	0	$P_0 + \frac{P_0'}{3}$	$P_n - \frac{P_n'}{3}$
抛物线端	6	-6	-6	6	0	$P_0 - P_1$	$P_n - P_{n-1}$
重 点	6	1	1	6	0	P_0	P_n
闭 曲 线	4	1	1	4	1	P_0	P_n

图 4 示算法流程。

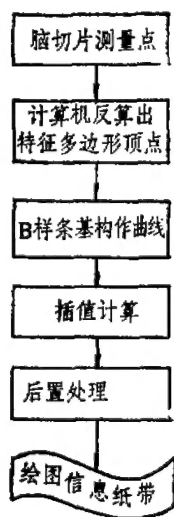


Fig. 4 Flow chart of programming algorithm

参 考 文 献

- Fisher, A. W. *et al.* 1979 A 3-dimensional reconstruction of the hypothalamo- neurohypophysial system of the rat *cell. Tissue. Res.* 204: 343-354
- Footo, S. L. *et al.* 1980 Accurate three- dimensional reconstruction of neuronal distributions in the brain: reconstruction of the rat nucleus locus coeruleus. *J. J. Neurosci. Meth.* 3: 159-173
- Krieg, W. J. 1948 A Reconstruction of the Diencephalic Nuclei of Macacas Rhesus *J. Comp Neurol.* 88: 1---51
- Lydic, R. *et al.* 1982 Three-Dimensional Structure of the Mammalian Suprachiasmatic Nuclei: A Comparative Study of Five Species. *J. Comp. Neurol.* 204: 225--237
- Riesenfeld, R. F. 1972 Applications of B-Spline Approximation to Geometric Problems of Computer Aided Design. Ph. D. Thesis at Syracuse University. Published as University of Utah. UTEC-CSc. 73-126
- Ware, R. W. *et al.* 1975 Three-Dimensional Reconstruction from Serial Sections. *Int. Rev. Cytol.* 40: 325-440

A STUDY ON THREE-DIMENSIONAL RECONSTRUCTION OF BRAIN STRUCTURE OF THE TREE SHREW (*TUPAIA BELONGERI CHINENSIS*) I. PICTURE OF THE BRAIN SEGMENTS BY COMPUTER AIDED GRAPHICS

Wang Duojiang *et al.*

(Guizhou Province Yunma Factory)

While studying the brain and behavior in tree shrew living in Yunnan, China, a mathematical model for three-dimensional reconstruction of brain structure had been made. In this article, a technique for bi-dimensional reconstruction and the picture of brain slice made by computer were reported.

Key words Tree shrew
Three-dimensional reconstruction of brain structure
Computer